

Zapico, A.G.; Benito, P.J.; Díaz, V.; Ruiz, J.R. y Calderón, F.J. (2014) Perfil de la frecuencia cardiaca en triatletas altamente entrenados / Heart rate profile in highly trained triathletes. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 14 (56) pp. 619-632 <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista56/artperfil505.htm>

ORIGINAL

PERFIL DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN TRIATLETAS ALTAMENTE ENTRENADOS

HEART RATE PROFILE IN HIGHLY TRAINED TRIATHLETES

Zapico, A.G.¹; Benito, P.J.²; Díaz, V.³; Ruiz, J.R.⁴ y Calderón, F.J.²

1. Profesor Contratado Doctor. Facultad de Educación, Universidad Complutense de Madrid, Spain. azapico@edu.ucm.es

2. Profesores Titulares de Universidad. Departamento de Rendimiento Humano, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF, Universidad Politécnica de Madrid, Spain. pedroj.benito@upm.es, franciscojavier.calderon@upm.es

3. Investigador Post-doctoral. Institute of Veterinary Physiology and Zurich Center for Integrative Human Physiology (ZIHP), Vetsuisse Faculty and University of Zurich, Switzerland. /Departamento de Rendimiento Humano, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF, Universidad Politécnica de Madrid, Spain. diaz@vetphys.uzh.ch

4. Grupo de Investigación PROFITH “PROMoting FITness and Health through physical activity” Departamento de Educación Física y Deportiva, Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Granada, Granada, España. ruizj@ugr.es

Agradecimientos

Este estudio ha sido parcialmente financiado por la Universidad Politécnica de Madrid mediante una beca de doctorado a Zapico, AG. Así como el Programa Marie Curie – COFUND (contract UNITE 246565) a becado a Díaz, V., y el Ministerio de Ciencia e Innovación a Ruiz, J. (RYC-2010-05957). Los autores quieren agradecer a Dario Fuentes y el Dr. Bob Garofano del Exercise Physiology Laboratory en el Morgan Stanley Children’s Hospital NY-Presbyterian/Columbia University Medical Center por sus aportaciones a la discusión y corrección del artículo en inglés.

Código UNESCO / UNESCO code: 2411 Fisiología humana / Human physiology

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification: 6. Fisiología del Ejercicio / Exercise Physiology

Recibido 18 de enero de 2012 **Received** January 18, 2012

Aceptado 8 de abril de 2013 **Accepted** April 8, 2013

RESUMEN

Nueve triatletas hombres ($68,0 \pm 2,0$ mL·kg⁻¹·min⁻¹, $25 \pm 1,9$ años, $68,3 \pm 2,2$ kg y $1,77 \pm 0,22$ m), realizaron un test incremental en cicloergómetro en tres ocasiones correspondientes con el inicio de la temporada, periodo

precompetitivo y periodo competitivo. El consumo de oxígeno máximo y los umbrales ventilatorios (aeróbico y anaeróbico respectivamente) fueron medidos en cada visita. A pesar de los cambios en la distribución del entrenamiento entre disciplinas, tiempo total de entrenamiento, tiempo de entrenamiento por semana, e intensidad del entrenamiento, potencia máxima, consumo de oxígeno máximo, frecuencia cardiaca submáxima, y concentración de lactato permanecieron estables a lo largo de la temporada. Dada la estabilidad mostrada con la relación entre la frecuencia cardiaca y los umbrales ventilatorios en nuestra muestra, concluimos que un único test de laboratorio al comienzo de la temporada podría ser suficiente para prescribir intensidades de entrenamiento (al menos en ciclismo) basándose en zonas de frecuencia cardiaca en triatletas altamente entrenados. Estos resultados deberán ser comprobados además con muestras mayores para poder ser generalizados.

PALABRAS CLAVE: rendimiento, estudio longitudinal, consumo de oxígeno máximo, potencia, umbrales ventilatorios, triatlón

ABSTRACT

Nine male triathletes ($68.0 \pm 2.0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 25 ± 1.9 years, $68.3 \pm 2.2 \text{ kg}$, $177.4 \pm 2.2 \text{ cm}$), performed an incremental maximal cycle exercise test on three separate occasions corresponding to the start of the season, pre-competitive period, and competitive period. Maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds (aerobic and anaerobic respectively) were assessed in each visit. Despite changes in the distribution of training among disciplines, total training time, training time per week, and intensity of the training, maximal power output, maximal oxygen uptake, submaximal heart rate, and lactate concentration remained stable throughout the season. Due to the stability displayed by the heart rate ventilatory thresholds relationship in our sample, we conclude that a single laboratory testing at the start of the season could be enough to prescribe training intensities (at least for cycling) based on heart rate zones in highly trained triathletes. These results should be compared in future studies with longer samples in order to be generalised.

KEY WORDS: performance, longitudinal study, maximal oxygen uptake, power output, ventilatory thresholds, triathlon

INTRODUCCIÓN

El triatlón olímpico es un deporte de resistencia cuya competición dura más de una hora. Por ello, tanto el consumo de oxígeno máximo ($\text{VO}_{2\text{max}}$), como la habilidad de mantener un alto porcentaje del $\text{VO}_{2\text{max}}$ durante largos periodos han sido utilizados como indicadores del rendimiento en triatlón (Bentley, Millet, Vleck, y McNaughton, 2002; O'Toole y Douglas, 1995). A diferencia de otros deportes de resistencia, el triatlón combina en un mismo evento la natación, el ciclismo y la carrera. Esta combinación de disciplinas incrementa el tiempo de entrenamiento comparado con otros deportes de resistencia de una sola disciplina. Los triatletas, por tanto, entrenan más que

los correspondientes atletas de cada una de las tres especialidades por separado (Rowlands y Downey, 2000). Además, se han comprobado efectos específicos del entrenamiento combinado en este tipo de deportistas (Millet, Vleck, y Bentley, 2009), aunque aún no entendemos los mecanismos que explican estas peculiaridades. Estas características hacen que los test específicos de triatlón sean un reto para los entrenadores.

Debido al potencial de adaptación que aporta la combinación de disciplinas, una descripción detallada de la evolución de las variables fisiológicas a lo largo de un año de entrenamiento, es necesaria para controlar la intensidad de entrenamiento y las adaptaciones a las cargas. La literatura científica sobre las modificaciones del $\text{VO}_{2\text{max}}$, o de la potencia máxima (PO_{max}), en triatletas de élite o altamente entrenados, es limitada. Kohrt y col. encontraron mejoras en el $\text{VO}_{2\text{max}}$ y el umbral láctico solamente durante el ciclismo (Kohrt, O'Connor, y Skinner, 1989). Sin embargo, los triatletas de Kohrt no pueden ser considerados élite o altamente entrenados ya que presentaban $\text{VO}_{2\text{max}}$ por debajo de $60 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. En ciclistas de élite, tanto el $\text{VO}_{2\text{max}}$, como la potencia en los umbrales ventilatorios mejoró entre los datos del inicio y final de la temporada (Lucia, Hoyos, Perez, y Chicharro, 2000; Zapico y col., 2007). Pese a las mejoras en $\text{VO}_{2\text{max}}$ y parámetros submáximos, las zonas de entrenamiento basadas en los datos de frecuencia cardíaca (FC) no se modificaron en toda la temporada, sugiriendo que una sola evaluación a principio de temporada podría ser suficiente para prescribir entrenamiento el resto del año (Lucia y col., 2000; Zapico y col., 2007). De todos modos, una extrapolación de estos datos al triatlón podría ser errónea debido a las peculiaridades del entrenamiento combinado de tres especialidades y la falta de literatura científica con triatletas de élite que apoye estos resultados.

Con el objetivo de evaluar si un solo test incremental, a principio de temporada, es suficiente para prescribir la intensidad de entrenamiento el resto del año, el presente trabajo estudia la evolución de los parámetros fisiológicos a máximas y submáximas intensidades en un grupo de triatletas altamente entrenados, durante una temporada de entrenamiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes

Un total de nueve triatletas entrenados participaron voluntariamente en el estudio. Todos los participantes pertenecían al equipo que quedó segundo en el Campeonato de España por equipos en distancia Olímpica en el año del estudio. Dos de los triatletas competían regularmente en competiciones internacionales (competiciones de la European Triathlon Union) y el resto lo hacía en competiciones nacionales. Los tiempos durante las jornadas clasificatorias para la distancia Olímpica oscilaban entre 1h 54min 43s y 2h 04min 36s.

Todos estaban familiarizados con los test de laboratorio y seguían un plan de entrenamiento similar bajo la supervisión de un entrenador con

experiencia. Antes del estudio, los participantes pasaron un reconocimiento médico, y fueron informados de los objetivos del estudio. Todos los participantes firmaron su consentimiento para participar en el estudio. El estudio se llevó a cabo siguiendo las normas deontológicas reconocidas por la Declaración de Helsinki (revisión de 2000) y siguiendo las recomendaciones de Buena Práctica Clínica de la CEE (documento 111/3976/88 de julio de 1990) y la normativa legal vigente española que regula la investigación clínica en humanos (Real Decreto 561/1993 sobre ensayos clínicos).

Tabla I. Características de los participantes en cada visita.

	Inicio de la temporada	Periodo precompetitivo	Periodo competitivo
Edad (años)	25±1,9	25±2,5	26±2,0
Masa corporal (kg)	68,3±2,2	67,6±2,0	67,8±2,1
Altura (m)	1,77±0,2	1,77±0,2	1,77±0,2
Σ pliegues cutáneos (mm)	47,4±4,4	40,8±3,2	42,8±3,9
Masa libre de grasa (kg)	35,3±1,2	35,0±1,2	35,4±1,2
Grasa corporal (%)	8,0±0,5	7,5±0,5	7,3±0,4

Los datos se muestran como media ± DE.

Protocolo

Cada participante realizó una serie de test en noviembre, otra en febrero y la última en junio. Se eligieron estos momentos por considerarlos representativos del inicio de la temporada o periodo preparatorio (de noviembre a enero), el periodo pre-competitivo (de febrero a mayo) y periodo competitivo (de junio a agosto).

Variables antropométricas

Se midió el peso y la talla de los participantes siguiendo métodos estándar (Marfell-Jones, Olds, Stewart, y Carter, 2006). Se tomaron los pliegues cutáneos del tríceps, subescapular, supraspinal, abdominal, muslo y pantorrilla. Se calculó el porcentaje de masa grasa mediante la ecuación de Yuhasz (1974), (Heyward y Stolarczyk, 1996):

$$\text{Masa grasa (\%)} = [(\Sigma 6 \text{ pliegues cutáneos} \times 0.097) + 3.64] / 100$$

$$\text{Masa libre de grasa (kg)} = \text{peso} - \text{masa grasa}.$$

Test incremental

Cada participante realizó un test incremental hasta el agotamiento en un cicloergómetro (Jaeger ER800, Erich Jaeger, Germany). El test empezaba con una carga de 0 vatios (W) que se incrementaba 25W por minuto. El test finalizó cuando el sujeto fue incapaz de mantener la cadencia de pedaleo dentro del intervalo 70-90 revoluciones por minuto. Además, el test se consideró máximo cuando se alcanzaban dos de los tres criterios de maximalidad propuestos por Basset y Boulay (2000): (i) cociente respiratorio mayor de 1,10; (ii) variaciones

en el consumo de oxígeno menores de $100 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ a pesar de incrementar la carga (esto es, se alcanzaba un *plateau*); (iii) el sujeto alcanzaba el 98% de su frecuencia cardíaca (FC) máxima teórica ($220 - \text{edad}$). Las condiciones ambientales del laboratorio fueron similares en las todas las ocasiones ($25 \pm 2^\circ \text{C}$, $55 \pm 3\%$ humedad relativa). Se les informó sobre la importancia de acudir al laboratorio en estado postabsortivo y sin haber realizado esfuerzos físicos extenuantes durante las 24 horas precedentes a cada una de las pruebas. Todos los sujetos fueron animados a dar el máximo en cada prueba.

Durante la realización del test se monitorizó los gases expirados respiración a respiración con un analizador de gases automático (Jaeger Oxycon Pro®, Erich Jaeger, Germany), que había sido previamente validado (Carter y Jeukendrup, 2002; Foss y Hallen, 2005). El sistema se calibraba antes de cada test utilizando una concentración de gases conocida. Los valores VO_2 , la producción de dióxido de carbono (VCO_2) y la ventilación (V_E) se promediaron cada 10 segundos para el posterior cálculo del $\text{VO}_{2\text{max}}$ y los umbrales ventilatorios, aeróbico (VT_1) y anaeróbico (VT_2).

El $\text{VO}_{2\text{max}}$ se calculó como la media de los dos puntos medios más altos en el momento en el que se alcanzó la máxima carga de trabajo en el test (Hawley y Noakes, 1992). Los umbrales ventilatorios se calcularon por dos investigadores independientes en un proceso de doble ciego (coeficiente de variación entre investigadores = 1,6%), tal y como se ha descrito anteriormente (Rabadán y col., 2011).

El VT_1 se determinó como (i) el primer incremento no lineal en la V_E (Skinner y McLellan, 1980); (ii) como el primer incremento en el coeficiente $\text{V}_\text{E}/\text{VO}_2$ sin un incremento en el coeficiente de $\text{V}_\text{E}/\text{VCO}_2$ (Davis, Whipp, y Wasserman, 1980); y (iii) como el punto de inflexión entre la relación $\text{VO}_2 - \text{VCO}_2$ (Beaver, Wasserman, y Whipp, 1986).

El VT_2 se determinó como (i) el segundo incremento no lineal en V_E (Skinner y McLellan, 1980) y ii) y como el segundo incremento no lineal en el cociente $\text{V}_\text{E}/\text{VO}_2$ con un incremento concomitante en el cociente $\text{V}_\text{E}/\text{VCO}_2$ (Davis y col., 1980).

Además, se tomaron muestras de sangre capilar del dedo cada 2 minutos durante el ejercicio así como en el tercer y quinto minuto tras la finalización del test. Se midió la concentración de lactato [La] inmediatamente después mediante fotometría (Dr. Lange LP-20, Bruno Lange, Germany).

Variables de entrenamiento

Las variables de entrenamiento se registraron cada semana durante toda la temporada. Cada triatleta tenía un pulsómetro (Polar S720i, Polar Electro OY, Finland). El investigador utilizaba la dinámica de la FC durante los test incrementales hasta el agotamiento para establecer las zonas de entrenamiento. Se les pidió a los triatletas que registraran la FC durante cada entrenamiento así como durante las carreras. El entrenador fue el encargado

de realizar la distribución de las cargas de entrenamiento de natación, bicicleta y carrera. El volumen de entrenamiento se expresó en tiempo (horas a la semana) e intensidad, calculada ésta en horas de entrenamiento realizadas en cada una de las tres zonas de FC (Zapico, y col., 2007): (i) por debajo de VT_1 , (ii) entre VT_1 y VT_2 , y (iii) por encima de VT_2 . El estímulo del entrenamiento se calculó siguiendo la puntuación TRIMP (Banister y Calvert, 1980) mediante la siguiente ecuación:

$$w(t) = T \times [(FC_{ejer} - FC_{repos}) / (FC_{max} - FC_{repos})]$$

donde $w(t)$ es el estímulo de entrenamiento o puntuación TRIMP, T es la duración del ejercicio en minutos, FC_{ejer} es la FC durante el ejercicio, FC_{repos} es la FC durante el reposo y FC_{max} es la FC máxima obtenida en el test.

Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de la varianza, ANOVA de medidas repetidas de una vía para comparar las medias de las variables registradas en los tres periodos de la temporada (noviembre, febrero y junio). Previamente, se realizó el test de Mauchly (Mauchly, 1940) para confirmar la esfericidad de la distribución. Se utilizó el ajuste del valor de la p siguiendo el método de Greenhouse-Geisser method (Greenhouse y Geisser, 1959) en aquellos casos en los que el test reveló una estructura de la covarianza que no era en tipo de H. La diferencia en la distribución del entrenamiento, la intensidad del entrenamiento y el tiempo del entrenamiento entre dos periodos se calculó mediante una t-Student para muestras relacionadas. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS, v. 15.0 para WINDOWS; SPSS Inc, Chicago). Se aceptó la significación cuando $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Las características de los participantes se muestran en la Tabla I y las referentes al volumen e intensidad de entrenamiento en cada periodo en la Tabla II.

El tiempo total de entrenamiento aumento ($p=0,02$) entre el inicio de temporada y el periodo precompetitivo. Este aumento fue acompañado de un descenso del entrenamiento por debajo del VT_1 ($p<0,01$) y de un aumento del tiempo de entrenamiento por encima del VT_2 ($p<0,01$). Además, la distribución del entrenamiento en cada una de las disciplinas a lo largo de la temporada también varió. De acuerdo al plan de entrenamiento facilitado por los entrenadores, dentro del primer periodo de la temporada (desde el inicio de la temporada al inicio del periodo precompetitivo), los triatletas emplearon un $36,1 \pm 4,3\%$ del tiempo en entrenamiento de natación, $43,4 \pm 3,6\%$ en bicicleta y $20,5 \pm 4,1\%$ corriendo. Esos porcentajes se alteraron entre el periodo precompetitivo y competitivo a un $28,6 \pm 5,1\%$ de natación ($p < 0,01$), $45,2 \pm 3,4\%$ de bicicleta (no significativo) y $26,2 \pm 4,3\%$ de carrera ($p = 0,02$).

Tabla II. Volumen e intensidad del entrenamiento a lo largo de la temporada.

	Entre el inicio de la temporada y el periodo precompetitivo	Entre el periodo precompetitivo y el periodo competitivo
Volumen total de entrenamiento (horas)	158,7±0,6	166,6±0,7*
Volumen total de entrenamiento (horas/semana)	13,7±2,2	14,4±3,8*
Puntuación TRIMP por semana	695±62,0	977,3±69,4*
Entrenamiento por debajo de VT ₁ (% volumen total)	57,3±0,4	48,3±0,6*
Puntuación TRIMP bajo VT ₁ por semana	264,7±42,5	251,8±62*
Entrenamiento entre VT ₁ y VT ₂ (% volumen total)	39,4±0,5	39,3±0,6
Puntuación TRIMP entre VT ₁ y VT ₂ por semana	267,2±51,4	292,2±67,8
Entrenamiento por encima de VT ₂ (% volumen total)	3,3±0,6	12,4±0,4*
Puntuación TRIMP por encima de VT ₂ por semana	163,1±53,2	433,3±71,3*

Los datos se muestran como media ± DE. * $p \leq 0.05$ entre periodos. Las puntuaciones TRIMP fueron calculadas siguiendo las instrucciones de Banister y Calvert (1980).

Las variables fisiológicas medidas durante la temporada se muestran en la Tabla III.

Comparado con el inicio de la temporada, el VO_{2max} permaneció estable en el segundo periodo y aumento en el periodo competitivo ($p < 0.01$). Por otro lado, la PO, FC y [La] permanecieron estables a lo largo de la temporada cuando fueron medidas a máxima intensidad y a VT₂. Sin embargo, a la intensidad del VT₁ se observó una mejora en PO ($p < 0.01$) y VO_2 ($p = 0.03$) para el periodo precompetitivo. Esta adaptación se mantuvo en el periodo competitivo. No se observaron cambios en la FC ni a intensidades máximas ni submáximas a lo largo de la temporada.

Tabla III. Variables medidas durante las tres visitas.

	Inicio de la temporada	Periodo precompetitivo	Periodo competitivo
PO _{max} (W)	383±15,8	396±17,0	402±23,0
PO _{max} (W·kg ⁻¹)	5,6±1,1	5,85±1,3	5,92±1,5
FC _{max} (beats·min ⁻¹)	184±4	182±4	183±5
VO _{2 max} (mL·min ⁻¹)	4640±182	4593±125	4929±196
VO _{2 max} (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	68,0±2,0	68,1±1,6	72,9±2,0*†
[La] _{max} (mmol·L ⁻¹)	12,1±1,4	10,3±1,4	14,1±1,3
PO _{VT1} (W)	169±12,9	221±12,5*	200±15,5
PO _{VT1} (%PO _{max})	44,1±2,4	55,8±2,6*	49,8±3,0†
FC _{VT1} (beats·min ⁻¹)	128±4	132±4	130±4
VO _{2VT1} (mL·min ⁻¹)	2325±142	2820±130*	2778±200
VO _{2VT1} (%VO _{2max})	50±2,4	61±2,1*	56±2,0†
[La] _{VT1} (mmol·L ⁻¹)	2,4±0,2	2,3±0,2	2,3±0,1
PO _{VT2} (W)	319±12,8	326±10,0	336±13,5
PO _{VT2} (%PO _{max})	83,3±3,0	82,3±2,4	83,6±2,8
FC _{VT2} (beats·min ⁻¹)	168±3	167±4	168±4
VO _{2VT2} (mL·min ⁻¹)	3870±172	3883±121	4247±208
VO _{2VT2} (%VO _{2max})	83,3±2,0	83,2±1,2	86,2±1,6
[La] _{VT2} (mmol·L ⁻¹)	6,7±0,7	5,6±0,7	6,6±0,5

Los datos se muestran como media ± DE. Potencia (PO), frecuencia cardiaca (FC), consumo de oxígeno (VO₂), concentración sanguínea de lactato ([La]). Los subíndices max, VT₁ y VT₂ indican máximo, primer umbral ventilatorio y segundo umbral ventilatorio respectivamente. * $p \leq 0.05$ comparado con el inicio de la temporada. † $p \leq 0.05$ comparado con el periodo precompetitivo.

DISCUSIÓN

Este estudio proporciona nuevos datos sobre el comportamiento de las variables fisiológicas (medidas en cicloergómetro), a lo largo de una temporada de entrenamiento, en triatletas altamente entrenados. Los resultados muestran

que la FC permanece estable pese a los cambios en la distribución del entrenamiento, la intensidad, o la PO correspondiente al VT_1 . Pese a que existen algunos test específicos para triatlón en la literatura, tanto de laboratorio (Hue, Le Gallais, Boussana, Chollet, y Prefaut, 2000; Millet, Dreano, y Bentley, 2003; Millet, Millet, y Candau, 2001) como de campo (Bernar y col., 2003; Díaz y col., 2011; Vleck, Santos, Bentley, y Alves, 2005), monitorizar y prescribir intensidades de entrenamiento en triatletas aún representa un reto para los entrenadores (Vleck y col., 2005). Por tanto, la estabilidad de la relación FC/umbrales ventilatorios podría representar que un solo test de laboratorio, a principio de temporada, sería suficiente para prescribir entrenamiento (al menos en bicicleta) basado en zonas de FC. Esta observación ya ha sido aportada en otros deportes como patinaje de velocidad (Foster, Fitzgerald, y Spatz, 1999) o ciclismo de élite (Lucia y col., 2000; Zapico y col., 2007), en los cuales la FC permanecía estable a lo largo del año usando los mismos métodos que el presente estudio para determinar la relación entre la FC y los umbrales.

Por otro lado, la PO mostró una tendencia ascendente (solo significativa para PO_{VT_1}) entre el principio de la temporada y el periodo competitivo (Tabla III), cambiando la relación FC/PO y PO/Umbrales a lo largo de la temporada. En consecuencia, el uso de medidores de potencia, en lugar de pulsómetros, para prescribir entrenamiento requeriría de varias evaluaciones a lo largo de la temporada. A su vez, el estudio de las relaciones entre PO y Umbrales a lo largo de una y varias temporadas, sería interesante para conocer las adaptaciones debidas al entrenamiento. En corredores con más de siete años de experiencia, la velocidad al VT_2 ha sido utilizada para discriminar entre fondistas y mediofondistas, sugiriendo que este parámetro es más sensible a las adaptaciones crónicas (Rabadán y col., 2011). Maffulli y col (1991) también afirman esto tras evaluar la relación entre el umbral anaeróbico y la velocidad de competición en 112 corredores de varias distancias. Esta relación, solo fue significativa en corredores de largas distancias (5000 o 10000 metros). Finalmente, un metanálisis determinó que el VT_2 es más sensible a los cambios inducidos por el entrenamiento que el VT_1 (Londeree, 1997). Si los cambios en la PO a VT_2 y VT_1 refleja o no adaptaciones al entrenamiento permanece una incógnita y necesita ser más investigado, resultados como los aquí presentados son opuestos a los de Galy y col. (2003) que encontraron un descenso en la PO a VT_2 a lo largo del periodo competitivo.

La PO_{max} y el VO_{2max} de nuestros participantes es comparable a la obtenida con triatletas de élite por Schneider y col. (1990) y Hue y col. (2000). Además, encontramos un aumento de ~6% en el VO_{2max} entre el principio de temporada y el periodo competitivo. Pese a que estos cambios son similares a estudios previos (Kohrt, Morgan, Bates, y Skinner, 1987), el aumento en el VO_{2max} de un ~6% es sorprendente, ya que normalmente los deportistas de este nivel necesitan periodos más largos para conseguir estas mejoras (Calderon, Díaz, Peinado, Benito, y Maffulli, 2010; Londeree, 1997). Otros estudios ni siquiera han aportado mejoras a lo largo de un año de entrenamiento (Gal y col., 2003). En nuestro estudio, la magnitud de la intensidad de entrenamiento expresada en TRIMPS para todas las disciplinas ronda las ~800 unidades a la semana, ya propuestas en otros estudios de

deportistas de resistencia como en los corredores kenianos (Billat y col., 2003) y esquiadores nórdicos (Seiler y Kjerland, 2006), así como en la distribución de entrenamiento por disciplinas (Basset y Boulay, 2003; Millet, Vleck, y Bentley, 2011). En cualquier caso, en nuestro estudio la intensidad de entrenamiento varía entre el principio de temporada y el periodo competitivo, no solo por el aumento del volumen (ver tiempo de entrenamiento), si no por el aumento del volumen de entrenamiento por encima del VT_2 (Tabla II). Además, notamos un descenso significativo del volumen de entrenamiento de natación y un aumento del de carrera según avanza la temporada. Es importante destacar de nuevo que los triatletas pueden conseguir adaptaciones distintas a los especialistas debido al efecto de la combinación de entrenamientos (Millet y col., 2009). Si el cambio de volumen de entrenamiento, de natación a carrera, unido al cambio en las intensidades de entrenamiento, a lo largo de la temporada, afecta al VO_{2max} en bicicleta es una incógnita y futuros estudios deberán investigar las consecuencias de modificar las intensidades a iguales volúmenes de entrenamiento en esta disciplina.

El aumento del VO_{2max} en el periodo competitivo fue acompañado de un descenso en el VO_{2VT1} y un ligero, pero no significativo, aumento del VO_{2VT2} . Galy y col. mostraron un descenso en la PO a VT_1 y VT_2 a lo largo de una temporada (Galy, y col., 2003). En contraste, un efecto positivo del entrenamiento a lo largo de la temporada en el VO_{2VT1} ha sido demostrado en ciclistas (Lucia y col., 2000; Zapico y col., 2007) y triatletas (Kohrt y col., 1987). En comparación con otros estudios, nosotros controlamos el entrenamiento semanalmente y observamos más tiempo de entrenamiento sobre el VT_2 antes del periodo competitivo. Estos cambios en el entrenamiento a lo largo de la temporada podrían explicar nuestros resultados. Sin embargo, la falta de cambios significativos en el VT_2 es curioso, ya que Kohrt y col. (1987) demostraron una mejora en el umbral de lactato ($4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) entre el inicio de la temporada y el periodo competitivo. En este mismo contexto, Schneider y col. (1990) observaron un umbral de lactato ($4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) al $\sim 67\% \text{ } VO_{2max}$, Kohrt y col. (1987) al $\sim 72\text{-}76\% \text{ } VO_{2max}$, y Hue y col. (2000) al $\sim 65\% \text{ } VO_{2max}$. En nuestro estudio, el VT_2 se situó en los $\sim 6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Estas diferencias entre estudios pueden ser debidas a las diferentes metodologías usadas para determinar el umbral anaeróbico. Mientras que hay estudios que fijan el umbral en una concentración de lactato de $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, nosotros elegimos calcular el umbral ventilatorio ya que su determinación se ha demostrado más reproducible (Amann, y col., 2004; Dickhuth, y col., 1999; Weston y Gabbett, 2001) y es un buen predictor del rendimiento en atletas con similares VO_{2max} (Coyle, Coggan, Hopper, y Walters, 1988; Coyle, y col., 1991).

Finalmente, es importante saber que los cambios en VO_2 y PO en la bicicleta, siempre fueron acompañados de una estabilidad en los valores de FC. Esta estabilidad, observada tanto en intensidades máximas como submáximas, ha sido antes demostrada en ciclistas (Lucia y col., 2000; Zapico y col., 2007), pero este es el primer estudio que la demuestra en triatletas altamente entrenados que compiten a nivel nacional e internacional. Este hallazgo, es de gran importancia, ya que sugiere que una sola prueba de esfuerzo a principio de la temporada (obteniendo la relación entre la FC y los

umbrales) sería suficiente para prescribir y monitorizar el entrenamiento en bicicleta para el resto de la temporada.

LIMITACIONES

En primer lugar, pese a que el estímulo de entrenamiento es similar al de otras disciplinas de resistencia (Billat y col., 2003; Seiler y Kjerland, 2006), y la intensidad de entrenamiento también es similar a estudios previos (Basset y Boulay, 2003; Millet y col., 2011), no pudimos obtener la intensidad de entrenamiento en cada disciplina por separado. Además, nuestros datos fueron siempre recogidos en test realizados en cicloergómetro, mientras que en el triatlón se combinan tres disciplinas que pueden verse afectadas por su combinación en el entrenamiento (Millet y Vleck, 2000). Por lo tanto, los resultados de los test en bicicleta podrían no ser los mismos para la carrera o la natación, y estos resultados deberían ser confirmados en las otras disciplinas. Sin embargo, un estudio ha demostrado la relación entre los resultados de test en bicicleta y carrera en triatletas, para la FC y el VO_2 (Basset y Boulay, 2003), lo que sugiere que los test en una de las disciplinas son suficientes para prescribir entrenamiento en las otras. Además, los umbrales ventilatorios son indicadores submáximos de eventos fisiológicos (Davis y col., 1980; Meyer, Lucia, Earnest, y Kindermann, 2005; Skinner y McLellan, 1980; Wasserman, Whipp, Koyl, y Beaver, 1973) lo que los hace independientes del tipo de test, lo que significa que la relación FC umbrales ventilatorios debería ser estable en natación y carrera también. No obstante, la dificultad de llevar a término este tipo de estudios longitudinales con muestras grandes, nos hace ser cautos en la generalización de los resultados y los adscribimos a nuestra muestra.

Por último, la falta de un grupo de control no permite la posibilidad de comparar los resultados independientemente del entrenamiento. Sin embargo, nuestros resultados son valiosos ya que la literatura científica en este campo es limitada. Hemos podido presentar datos de entrenamiento de gran parte de la temporada (~90% de las sesiones de entrenamiento han sido registradas), así como indicadores fisiológicos de triatletas que compiten a nivel nacional e internacional.

CONCLUSIONES

La relación FC umbrales ventilatorios, en nuestra muestra, permanece estable a lo largo de la temporada pese al aumento en la magnitud de algunas variables fisiológicas máximas y submáximas. Esta relación permanece estable pese a los cambios en la intensidad total del entrenamiento y la distribución del mismo en cada una de las disciplinas (natación, ciclismo y carrera). Por lo tanto, sugerimos que un test incremental al principio de la temporada podría ser suficiente para prescribir la intensidad de entrenamiento basada en las zonas de FC. Al obtener estos datos en test realizados en cicloergómetro, no son directamente aplicables para prescribir entrenamiento en natación y carrera. Para obtener una visión más amplia y poder generalizar estos resultados, sugerimos ampliar la muestra en futuros estudios, así como estudiar la estabilidad de la FC, en triatletas, a lo largo de la temporada en test de carrera y natación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amann, M., Subudhi, A. W., Walker, J., Eisenman, P., Shultz, B., y Foster, C. (2004). An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 1716-1722.

Banister, E. W., y Calvert, T. W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. *Can J Appl Sport Sci*, 5, 170-176.

Basset, F. A., y Boulay, M. R. (2000). Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 81, 214-221.

Basset, F. A., y Boulay, M. R. (2003). Treadmill and cycle ergometer tests are interchangeable to monitor triathletes annual training. *J Sports Sci Med*, 2, 110-116.

Beaver, W. L., Wasserman, K., y Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*, 60, 2020-2027.

Bentley, D. J., Millet, G. P., Vleck, V. E., y McNaughton, L. R. (2002). Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. *Sports Med*, 32, 345-359.

Bernard, T., Vercruyssen, F., Grego, F., Hausswirth, C., Lepers, R., Vallier, J. M. y col. (2003). Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *Br J Sports Med*, 37, 154-158; discussion 159.

Billat, V., Lepretre, P. M., Heugas, A. M., Laurence, M. H., Salim, D., y Koralsztejn, J. P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 297-304; discussion 305-296.

Calderon, F. J., Díaz, V., Peinado, A. B., Benito, P. J., y Maffulli, N. (2010). Cardiac dimensions over 5 years in highly trained long-distance runners and sprinters. *Phys Sportsmed*, 38, 112-118.

Carter, J., y Jeukendrup, A. E. (2002). Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *Eur J Appl Physiol*, 86, 435-441.

Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K., y Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol*, 64, 2622-2630.

Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M. y col. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*, 23, 93-107.

Davis, J. A., Whipp, B. J., y Wasserman, K. (1980). The relation of ventilation to metabolic rate during moderate exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 44, 97-108.

Díaz, V., Peinado, A. B., Vleck, V. E., Alvarez-Sánchez, M., Benito, P. J., Alves, F. B. y col. (2011). Longitudinal changes in response to a cycle-run field test of young male National "Talent identification" and Senior Elite Triathlon Squads. *J Strength Cond Res*. In press. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31823a3c6b

Dickhuth, H. H., Yin, L., Niess, A., Rocker, K., Mayer, F., Heitkamp, H. C. y col. (1999). Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during

incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med*, 20, 122-127.

Foss, O., y Hallen, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *Int J Sports Med*, 26, 569-575.

Foster, C., Fitzgerald, D. J., y Spatz, P. (1999). Stability of the blood lactate-heart rate relationship in competitive athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 578-582.

Galy, O., Manetta, J., Coste, O., Maimoun, L., Chamari, K., y Hue, O. (2003). Maximal oxygen uptake and power of lower limbs during a competitive season in triathletes. *Scand J Med Sci Sports*, 13, 185-193.

Greenhouse, S. W., y Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24, 95-112.

Hawley, J. A., y Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 65, 79-83.

Heyward, V. H., y Stolarczyk, L. (1996). *Applied body composition assesment* (1^a ed.). Champaign (Il): Human Kinetics.

Hue, O., Le Gallais, D., Boussana, A., Chollet, D., y Prefaut, C. (2000). Performance level and cardiopulmonary responses during a cycle-run trial. *Int J Sports Med*, 21, 250-255.

Hue, O., Le Gallais, D., Chollet, D., y Prefaut, C. (2000). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can J Appl Physiol*, 25, 102-113.

Kohrt, W. M., Morgan, D. W., Bates, B., y Skinner, J. S. (1987). Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 51-55.

Kohrt, W. M., O'Connor, J. S., y Skinner, J. S. (1989). Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc*, 21, 569-575.

Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 29, 837-843.

Lucia, A., Hoyos, J., Perez, M., y Chicharro, J. L. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 1777-1782.

Maffulli, N., Capasso, G., y Lancia, A. (1991). Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *J Sports Med Phys Fitness*, 31, 332-338.

Marfell-Jones, M., Olds, T., Stewart, A., y Carter, L. (2006). *International standards for anthropometric assesment*. Potchefstroom, South Africa: I.S.A.K.

Mauchly, J. W. (1940). Significance test for sphericity of a normal *n*-variate distribution. *Annals of Mathematical Statistics*, 11, 204-209.

Meyer, T., Lucia, A., Earnest, C. P., y Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. *Int J Sports Med*, 26 Suppl 1, S38-48.

Millet, G. P., Dreano, P., y Bentley, D. J. (2003). Physiological characteristics of elite short- and long-distance triathletes. *Eur J Appl Physiol*, 88, 427-430.

Millet, G. P., Millet, G. Y., y Candau, R. B. (2001). Duration and seriousness of running mechanics alterations after maximal cycling in triathletes. Influence of the performance level. *J Sports Med Phys Fitness*, 41, 147-153.

Millet, G. P., y Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *Br J Sports Med*, 34, 384-390.

Millet, G. P., Vleck, V. E., y Bentley, D. J. (2009). Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Med*, 39, 179-206.

Millet, G. P., Vleck, V. E., y Bentley, D. J. (2011). Physiological requirements in triathlon. *J Hum Sport Exerc*, 6, 184-204.

O'Toole, L. M., y Douglas, S. P. (1995). Applied Physiology of Triathlon. *Sports Med*, 19, 251-267.

Rabadán, M., Díaz, V., Calderón, F. J., Benito, P. J., Peinado, A. B., y Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners. *J Sports Sci*, 29, 975-982.

Rowlands, D. S., y Downey, B. (2000). Physiology of Triathlon. In J. William E. Garret, y Donald T. Kirkendall (Ed.), *Exercise and Sport Science* (pp. 919-939). Philadelphia: Lippincott and Wilkins.

Schneider, D. A., Lacroix, K. A., Atkinson, G. R., Troped, P. J., y Pollack, J. (1990). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med Sci Sports Exerc*, 22, 257-264.

Seiler, K. S., y Kjerland, G. O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports*, 16, 49-56.

Skinner, J. S., y McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport*, 51, 234-248.

Vleck, V., Santos, S., Bentley, D., y Alves, F. (2005). *Influence of prior cycling on the OBLA measured during incremental running in triathletes*. Paper presented at the Annual Congress of the British Association of Sports and Exercise Scientists.

Wasserman, K., Whipp, B. J., Koys, S. N., y Beaver, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*, 35, 236-243.

Weston, S. B., y Gabbett, T. J. (2001). Reproducibility of ventilation of thresholds in trained cyclists during ramp cycle exercise. *J Sci Med Sport*, 4, 357-366.

Zapico, A. G., Calderon, F. J., Benito, P. J., Gonzalez, C. B., Parisi, A., Pigozzi, F. y col. (2007). Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness*, 47, 191-196.

Referencias totales / Total references: 46 (100%)

Referencias propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)